



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

APLIKACE VYSTRUŽOVACÍCH NÁSTROJŮ S BŘÍTY Z CERMETU

APPLICATION REAMERS WITH CERMET CUTTING EDGE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Martin TOMAN

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Karel Kouřil, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Toman

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Aplikace vystružovacích nástrojů s břity z cermetu

v anglickém jazyce:

Application reamers with cermet cutting edge

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je poskytnout přehled o současných řezných nástrojích pro produktivní obrábění velmi přesných děr. Dále navrhnout a provést experimentální řezné zkoušky vystružovacího nástroje HAM-FINAL s břity z cermetu ve spolupráci s firmou HAM-FINAL, s.r.o. Úvodní část práce bude poskytovat definice základních parametrů přesnosti, kvality obrobeného povrchu a požadavku na přesnost děr. Práce zmapuje současnou technickou úroveň dostupných nástrojů světových výrobců, pro přesné obrábění děr, z hlediska technologických aspektů, nástrojových materiálů, nástrojové geometrie, hlavních konstrukčních prvků. Závěrečná část práce se bude zabývat návrhem, provedením a vyhodnocením experimentálního ověření užitečných vlastností prototypu nově vyvíjených výstružníků s břity z cermetu ve spolupráci s HAM-FINAL.

Cíle bakalářské práce:

Navrhnout, provést a vyhodnotit experimentální ověření užitečných vlastností prototypu nově vyvíjených výstružníků s břity z cermetu, ve spolupráci s HAM-FINAL.

Seznam odborné literatury:

BUMBÁLEK, B. Vysoce přesné metody obrábění a jejich fyzikální podstata. Brno: Vysoké učení technické v Brně. 2004.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM Brno s.r.o. 2006. ISBN 80-214-2374-9.

SHAW, MILTON C. Metal Cutting Principles. New York, Oxford: Oxford University Press, 2005.

ZETEK, M., KRÍŽ, A., ŠKARDA, J. Řezné síly při vrtání těžkoobrobitelných materiálů o vysoké pevnosti a tvrdosti. České Budějovice: Příspěvek na Mezinárodní konferenci při příležitosti 55. výročí založení fakulty strojní VŠB-Technická univerzita. 2005.

ČERMÁK, J. Soudobé otěruvzdorné povlaky a jejich vliv na efektivní využití řezných nástrojů ze slinutých karbidů. Brno: Vysoké učení technické v Brně. 2009, ISBN 978-80-214-3901-6.


KOVÁŘ, L. Hodnocení deformačního chování materiálu při řezání na základe stability a nestability plastické deformace a smykového napětí v primární oblasti plastické deformace. Brno: VUT v Brně. 2002.

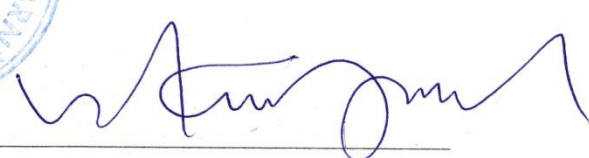
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Karel Kouřil, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 21.11.2011




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá technologií vystružování se zaměřením na cermetové výstružníky. V úvodu práce je rozebrána základní definice parametrů přesnosti, jako jsou rozměrové, geometrické tolerance a drsnost povrchu. Dále je podrobně rozebrána technologie vystružování, parametry, geometrie a rozdělení výstružníků. Pro doplnění je uveden přehled světových výrobců výstružníků. V závěrečné části je proveden příklad optimalizace výroby náhradou nástroje za výkonnější výstružník. Experimentální část studie byla prováděna ve spolupráci s firmou HAM-FINAL.

Klíčová slova

Výstružník, cermet, tolerance, dokončovací obrábění, drsnost povrchu

ABSTRACT

This thesis deals with the technology of reaming aimed mainly on cermet reamers. In the introduction of the thesis, the basic parameters of precision, dimension tolerance, geometrical tolerance and surface roughness are shown. Also, the technology of reaming, parameters, geometry and sorting of the reaming tools is analyzed in depth. The overview of the world producers of reaming tools is also shown as a supplement. In the final part, an example of production optimization by replacing a reamer with a better performing one is shown. Experimental part of this thesis has been made in the cooperation with HAM-FINAL company.

Key words

Reamer, cermet, tolerance, finish machining, surface roughness

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TOMAN, Martin. *Aplikace vystružovacích nástrojů s břity z cermetu*. Brno 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 47s. příloh 11. Ing. Karel Kouřil, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Aplikace vystružovacích nástrojů s břity z cermetu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

Martin Toman

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Karlu Kouřilovi, Ph.D. a panu Vladimíru Vaňkovi za cenné připomínky, rady a pomoc při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 Definice základních parametrů přesnosti.....	10
1.1 Rozdělení základních parametrů přesnosti.....	10
1.1.1 Tolerování a lícování rozměrů	10
1.2 Vývoj soustavy tolerancí a uložení	11
1.2.1 Milníky vývoje soustavy tolerancí a uložení	11
1.2.2 Soustava tolerancí a uložení ISO	12
1.2.3 Tolerování geometrických vlastností.....	12
1.2.4 Všeobecné tolerance	14
1.2.5 Struktura povrchu	15
2 Vystružování.....	17
2.1 Kinematika procesu vystružování a geometrie nástroje.....	18
2.2 Geometrie nástroje	18
2.3 Přídavek na obrábění.....	19
2.4 Rozdělení výstružníků.....	20
3 Výstružníky světových výrobců	21
3.1 MAPAL.....	21
3.2 BECK	23
3.3 DIHART.....	24
3.4 GÜHRING	25
3.5 HAM-FINAL	26
4 Řezný materiál a povlak aplikovaný na výstružníky	27
4.1 Vývoj cermetů	28
4.2 Struktura a výroba cermetů	28
4.3 Vlastnosti a použití cermetů.....	29
4.4 Povlakování.....	30
4.4.1 Metoda CVD.....	30
4.4.2 Metoda PVD	30
5 Praktická část	31
5.1 Obráběná součást, popis pracoviště	32

5.2	Příprava díry před vystružováním.....	32
5.3	Testované výstružníky	32
5.4	Pracovní podmínky při vystružování	34
5.5	Dosažené výsledky životnosti při vystružování	34
5.6	Vyhodnocení měření rozměrové, tvarové přesnosti a drsnosti povrchu	35
5.6.1	Vyhodnocení měření rozměrové, tvarové přesnosti	35
5.6.2	Vyhodnocení měření drsnosti povrchu vystružené díry	37
5.7	Technické vyhodnocení naměřených výsledků	38
5.8	Ekonomické vyhodnocení naměřených výsledků	38
ZÁVĚR		41
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ		43
Seznam použitých symbolů a zkratk.....		46
SEZNAM PŘÍLOH.....		47
Příloha 1	Naměřený soubor dat nástroje DIHART	
Příloha 2	Naměřený soubor dat nástroje HAM-FINAL	
Příloha 3	Fyzikální vlastnosti povlaku TINALOX SN ₂	
Příloha 4	Ukázka měření drsnosti povrchu	
Příloha 5	Ukázka měření kruhovitosti díry Ø12 H6 DIHART	
Příloha 6	Ukázka měření kruhovitosti díry Ø12 H6 HAM-FINAL	
Příloha 7	Zákaznický výkres výhrubníku	
Příloha 8	Zákaznický výkres výstružníku	
Příloha 9	Souřadnicový stroj ZEISS Prismo 7	
Příloha 10	Drsnoměr MAHR MarSurf	
Příloha 11	Výkresová dokumentace hydraulické kostky	

ÚVOD

Jednou z částí strojírenské technologie je výroba otvorů, pod kterou bychom mohli zařadit nepoužívanější vrtání, ale také metody, které dokáží dále zpřesnit otvor, jsou metody vyhrubování a vystružování. Vystružování je tedy dokončovací metoda třískového obrábění s definovanou geometrií břitu. Používá se pro dokončení nahrubo vyvrtaných děr. Výsledkem tohoto procesu je výrazné zkvalitnění konečné díry ve smyslu zlepšení drsnosti povrchu, dosažení lepších rozměrových a geometrických tolerancí výrobku.

Jako řezný materiál můžeme použít nástrojovou ocel, slinuté karbidy, supertvrdé materiály jako kubický nitrid bóru nebo polykrystalický diamant nebo cermet, který je charakteristický pro dokončovací operaci vystružování, protože dokáže unést silové zatížení, pracovat ve vysokých otáčkách a s dobrou chemickou stabilitou ho můžeme použít na vysokoproduktivní obrábění.

Dnešním trendem je obrobit součást za co nejkratší čas co nejlevněji. Předkládaná práce má přispět k zvýšení produktivity a snížení nákladů při konkrétní operaci vystružování při obrábění rozvodové kostky.

1 DEFINICE ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ PŘESNOSTI

Je již známou pravdou, že žádný výrobek a žádný rozměr nelze vyrobit ideálně přesně. Proto v závislosti na požadované funkci výrobku jsou na výkrese předepisovány tolerance.

1.1 Rozdělení základních parametrů přesnosti

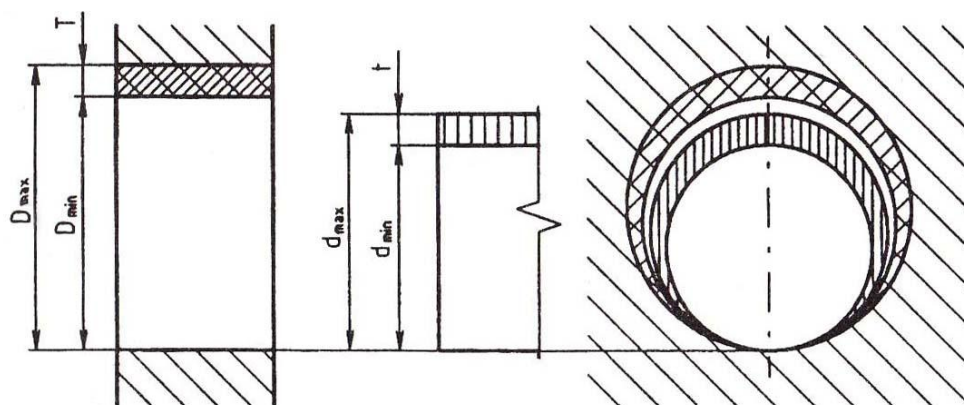
V dnešní době je předepisování parametrů přesnosti, jako jsou tolerance, úchytky a drsnost povrchu nezbytnou nutností a to především na prvcích, kde je požadována správná funkce, provozní spolehlivost po celou dobu životnosti výrobku. V případě, že tolerance není uvedena přímo na výkrese, pak se řídí všeobecnou normou zanesenou v razítku na výkrese. Sjednocení norem a předpisů pro předepisování parametrů přesnosti zajišťuje smontovatelnost, zaměnitelnost a vyměnitelnost jednotlivých kusů. Parametry určující přesnost součásti můžeme rozdělit na[3]:

- Tolerance rozměrů,
- Tolerance geometrických vlastností,
- Všeobecné tolerance,
- Drsnost povrchu.

V následujícím textu se budeme těmito termíny zabývat.

1.1.1 Tolerování a lícování rozměrů

Tolerování na výkrese je základním pravidlem zajištění správné funkce součásti. Při tolerování délkových rozměrů je důležité nejdříve zjistit, zda se jedná o rozměr typu hřídele nebo díry. Na obr. 1.1 jsou základní termíny pro toleranci, kde tolerance hřídele je značená malými písmeny, tolerance díry velkými tiskacími.



D_{max} – horní mezní rozměr díry

D_{min} – dolní mezní rozměr díry

T – rozměrová tolerance díry

d_{max} – horní mezní rozměr hřídele

d_{min} – dolní mezní rozměr hřídele

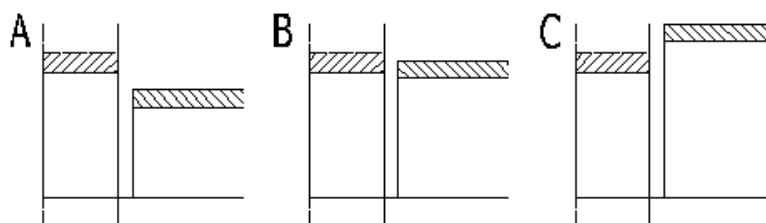
t – rozměrová tolerance hřídele

Obr. 1.1 Základní pojmy tolerování díry a hřídele [4].

Vztah mezi dírou a hřídelí pak tvoří uložení, přitom ani hřídel, ani díra nemusí mít nutně kruhový průřez, například soustava pero, drážka tvoří také uložení. Charakter

uložení, který je dán skutečnými rozměry, je na výkresové dokumentaci předepsán mezními rozměry, respektive společným předpisem jmenovitého rozměru a mezní úchytky. V praxi máme 3 typy uložení (obr. 1.2)[4]:

- A. **Uložení s vůlí** – skutečný rozměr hřídele je menší než skutečný rozměr díry
- B. **Uložení s přesahem** – skutečný rozměr díry je menší než skutečný rozměr hřídele
- C. **Uložení přechodné** – jedná se o kombinaci dvou předchozích uložení, s vymezením mezních rozměrů může dojít jak k vymezení vůle, tak k vymezení přesahu



Obr. 1.2 Typy uložení

1.2 Vývoj soustavy tolerancí a uložení

Na přelomu 19. - 20. století, kdy ještě nebyly žádné předpisy, se podniky řídily vlastními směrnici pro volbu úchytek, tolerancí a uložení. Až začátkem 20. století, v období 1. a 2. světové války, dochází ke sjednocení a tvorbě mezinárodních pravidel pro soustavy tolerancí a uložení, kde obecně v tomto období dochází k velkému pokroku ve strojírenství. Většinou bohužel k výrobě zbraní a bojové techniky.

1.2.1 Milníky vývoje soustavy tolerancí a uložení

Tab. 1.1 Vývoj normy tolerování rozměrů [3,31]

Období	Nové normy
1928-1934	Vznik lícovací soustavy ISA (International Standards Association) vydaná jako doporučení.
1936	U nás vychází ČSN 1226 Lícovací soustava ISA
1953	Vychází soubor norem ČSN 01 4201 až ČSN 01 4235 již podrobnější pro rozměry od 1 mm do 500 mm.
1959	ČSN 01 4204 Lícovací soustava pro rozměry přes 500 do 10 000 mm
1988	Vznik mezinárodní normy ISO 286 pod organizací ISO – system of limits and fits (soustava tolerancí a uložení). Norma byla rozšířena o další ustanovení a nová toleranční pole pro rozměry do 3150 mm.
1993	Evropská norma EN 20286 je převzatou normou ISO 268 beze změn.
1996	Přidružením do Evropské unie nutnost převzít evropskou normu a vznik nyní aktuální normy ČSN EN 20286. Norma je rozdělená na 2 části.
2011	V platnosti nejnovější mezinárodní norma uznaná jako státní ČSN EN ISO 268 vešla v platnost v květnu 2011. Tato norma je přejatá mezinárodní organizací ISO z roku 1988. Norma je rozdělená na 2 části.

1.2.2 Soustava tolerancí a uložení ISO

Jak vyplývá z předchozího textu, abychom mohli stanovit přesnou polohu součásti, je nutné předepsat velikost tolerančního pole a také jeho polohu, ve které musí jmenovitý rozměr ležet. Organizace ISO (International Organization for Standardization) vytvořila soustavu tolerančních stupňů (velikost tolerance) a umístění vzhledem k nulové čáře jmenovitého rozměru. Soustava je tvořená tolerancí rozměrů do 3150 mm. Soustava je rozdělena do 20 tolerančních stupňů pro rozměry do 500 mm a 18 stupňů pro rozměry od 500 do 3150 mm. Z tabulky č. 1.2 si můžeme představit jednotlivá použití tolerančních stupňů. Konstrukteři musí volit toleranční stupně s rozvahou a určitou zkušeností. Není potřeba volit zbytečně přesné stupně v případě, že to nemá vliv na funkci výrobku, protože tak dochází ke zbytečnému použití přesnějších technologií výroby a tím i její prodražování.[3]

Tab. 1.2 Toleranční stupně [3]

IT	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Použití	výroba měřidel a kalibrů																			
					vysoce přesná výroba (např. ložiska, zbraně)															
							Přesné a všeobecné strojírenství													
													výroba polotovarů							
																Kovové konstrukce				

1.2.3 Tolerování geometrických vlastností

Geometrické tolerance slouží k předepisování tvaru, směru a polohy, která byla vyvolána dalším zvyšováním požadavků na přesnost strojírenských výrobků. Geometrické tolerance se řídí nově platnou normou ISO EN ČSN 5459 vydanou v dubnu roku 2012. K tomu, abychom mohli efektivně vyhodnotit geometrické tolerance, je zapotřebí možnost vyhodnocovat pomocí počítačů.[3,31]

Geometrické tolerance se liší od tolerance tvaru a polohy v definici, kde jak je z předešlého textu zřejmé, tolerance tvaru a polohy je definovaná pomocí úchylek, na rozdíl od geometrických, které vychází definice geometrických tvarů. V následujících tabulkách jsou uvedeny jednotlivé geometrické tolerance, jejich názvy, značky a rozdělení.

Geometrické tolerance rozdělujeme podle toho, na kolik prvků jsou vázány[4]:

- k jednomu prvku,
- ke dvěma nebo více prvků,

Tab. 1.3 Geometrické tolerance tvaru[4]

Tolerance		Značky
Tolerance vztahující se k jednomu prvku		
Tvaru	Přímosti	
	Rovinnosti	
	Kruhovitosti	
	Válcovitosti	
Tolerance vztahující se k jednomu prvku nebo dvěma (a více) prvkům		
Tvaru	Tvaru čáry	
	Tvaru plochy	

Tab. 1.4 Tolerance umístění, házení a orientace[4]

Tolerance		Značky
Tolerance vztahující se ke dvěma nebo více prvkům		
Orientace	Rovnoběžnosti	
	Kolmosti	
	Sklonu	
Umístění	Polohy	
	Soustřednosti a souososti	
	Souměrnosti	
Házení	Kruhového	
	Celkového	


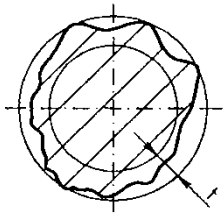
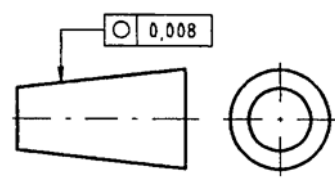
Geometrické tolerance jsou definované pomocí tolerančního pole, (tvořené např. rovnoběžnými přímkami, rovinami, válci, soustřednými kružnicemi atd.) ve kterém se musí pohybovat daný prvek.

1.2.3.1 Geometrické tolerance kruhovitosti a válcovitosti

S technologií vystružování jsou velice úzce spjaty 2 geometrické tolerance tvaru, které jsou nepostradatelnými parametry při vyhodnocení kvality vystružené díry. Jsou to tolerance kruhovitosti a válcovitosti.

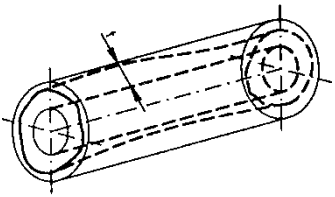
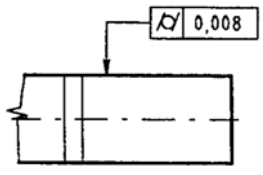
Kruhovitost je určena polohou dvou soustředných kružnic, tak aby vzdálenost mezi nimi byla co nejmenší. V tabulce č. 1.5 je znázorněna ukázka jak danou kruhovitost předepisujeme na výkresech.

Tab. 1.5 Tolerance kruhovitosti [4]

Tolerance kruhovitosti	
 <p>Toleranční pole kruhovitosti je omezeno v dané rovině průřezu dvěma soustřednými kružnicemi vzdálenými od sebe o šířku mezikruží.</p> 	<p>Ukázka značení tolerance kruhovitosti. Hodnota tolerančního pole je 0,008mm.</p> 

Podobným parametrem pro předepisování tolerance přesných a velice přesných děr je tolerance válcovitosti. V předchozím případě jsme se omezili na definici tolerančního pole pouze v rovině. Válcovitost, která je rovněž z klíčových tolerancí přesných děr, již spadá do tolerance trojrozměrného prvku. Můžeme ji tedy definovat dvěma soustřednými válci jak je vidět v tabulce č. 1.6.

Tab. 1.6 Tolerance válcovitosti [4]

Tolerance válcovitosti	
	<p>Toleranční prostor je omezen dvěma souosými válci vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance válcovitosti t.</p> <p>Ukázka značení tolerance válcovitosti. Hodnota tolerančního pole je 0,008 mm.</p> 

1.2.4 Všeobecné tolerance

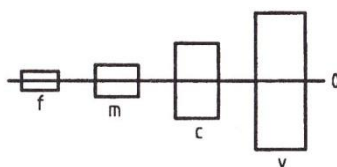
Ve strojírenství nelze vyrobit žádný rozměr ideálně přesně. V předešlých kapitolách bylo zmíněno o zapisování tolerancí mezních úchylek, geometrických tolerancí atd. avšak zhruba 80-90% na výkresech toleranci nemají zapsanou. To však neznamená, že by neměli stanovené výrobní meze. Tyto „netolerované“ v některých literaturách nazývané jako „volné“ se řídí státní normou pro všeobecnou toleranci ČSN ISO 2768, která je platná od roku 1992. Tato norma je rozdělena na části: [3]

Část 1: Nepředepsané mezní úchylky délkových a úhlových rozměrů

Část 2: Nepředepsané geometrické tolerance

Pro nepředepsané mezní tolerance délkových a úhlových rozměrů (obr. 1.3) platí 4 třídy přesnosti[3]:

- přesná f (fine)
- střední m (medium)
- hrubá c (course)
- velmi hrubá v (very course)



Obr. 1.3 Nepředepsané mezní úchylky délkových a úhlových rozměrů[4]

Jsou to toleranční pole pro díry a hřídele, které jsou symetrické k nulové čáře jmenovitého rozměru. Velikost velmi hrubé tolerance je zhruba desetinásobek tolerance přesné.

Pro předepisování všeobecných geometrických tolerancí jsou stanovené 3 třídy přesnosti, které se označují, jak už bylo zmíněno v předešlém textu, velkými písmeny[3]:

- nejpřesnější H
- střední K
- hrubá L

Zápis všeobecných tolerancí, které se ve většině případů předepisují do popisového pole výkresu nebo do jeho bezprostřední blízkosti může vypadat tak, jak je znázorněno.

ISO 2768-mK

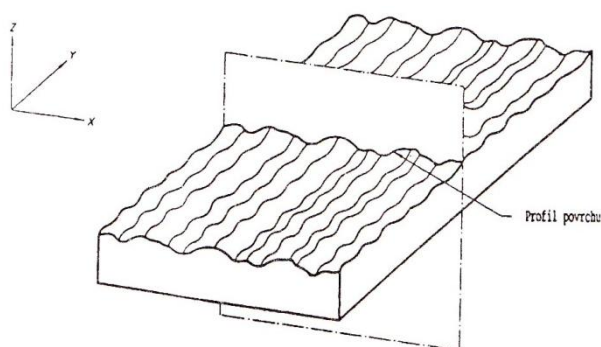
1.2.5 Struktura povrchu

Jak už bylo naznačeno v předešlých kapitolách, že výrobek nelze vyrobit ideálně přesně, ani u parametru struktury povrchu tomu není jinak. U libovolných technologických metod výroby, každá technologie zanechává nerovnosti na povrchu součásti. Podle literatury [4] bychom mohli vymezit dva odlišné pojmy pro vymezení „nerovnosti povrchu“. Jedná se o pojem nedokonalost povrchu, která je způsobená náhodnými pochody, jako jsou např. rýhy, trhliny, staženiny, póry. Nedokonalost povrchu však přímo nespadá pod definici struktury povrchu. [4]

Do struktury povrchu můžeme zařadit opakované nebo náhodné úchytky od geometrického povrchu, které tvoří trojrozměrnou topografii povrchu. Struktura povrchu je členěna podle různých profilů na[4]:

- Profil drsnosti R
- Profil vlnitosti W
- Profil parametru P

Při vyhodnocování drsnosti povrchu se používá profilová metoda, tedy vezme se průmět kolmou rovinou k povrchu (obr. 1.4).



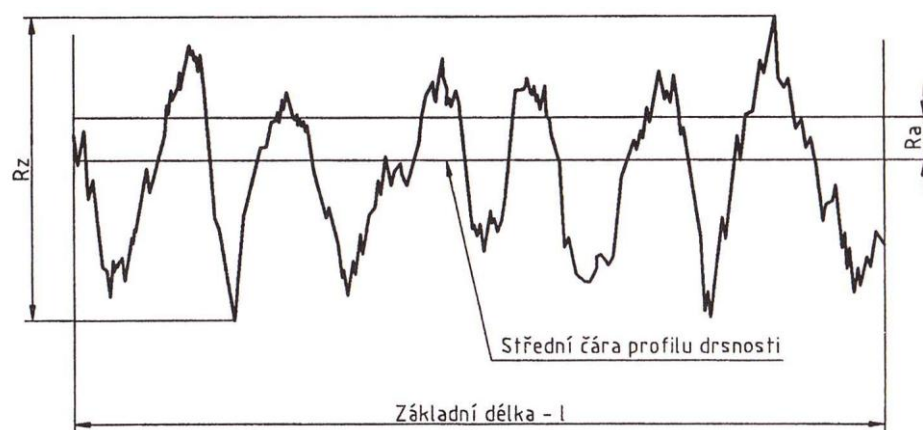
Obr. 1.4 Průmět profilu povrchu do roviny [10]

Z tohoto profilu povrchu, lze odvodit profil drsnosti, vlnitosti a profil základního profilu. Profil drsnosti je dále využíván pro určení parametru střední aritmetické úchytky profilu R_a podle rov. 1.1.[4]

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |z(x)| dx \quad (1.1)$$

Kde: l [μm] délka vyhodnocené oblasti

z [-] aktuální výška v souřadnici z



Obr. 1.5 Parametry drsnosti Ra a Rz [4]

2 VYSTRUŽOVÁNÍ

Vystružování je dokončovací operace pro výrobu přesných válcových a kuželových děr o definovaných parametrech přesnosti jako jsou tolerance, drsnost povrchu aj. Jedná se o obrábění s definovanou geometrií nástroje, kde jako nástroj se používá výstružník.

Před technologií vystružování obvykle předchází vrtání díry konvenčním vrtákem a poté vyhrubování otvoru. U otvorů do průměru 10 mm se díra v některých případech nemusí dále vyhrubovat, ale po vrtání se rovnou díra vystružuje.[8]

Typické pro operaci vystružování je malý úběr materiálu, v případě, že by přídavek byl naopak velice malý, nebude docházet k odřezávání materiálu, ale bude docházet k jeho zatlačování do otvoru a dojde tak k vytvoření nežádoucího mnohohranu. Hodnota přídavku na obrábění je ve většině případů vypočítaná pomocí empirických vztahů. Touto technologií dokážeme vytvářet díry v tolerančních stupních IT 5-8 a drsnosti povrchu obvykle Ra 0,8 (tab. 2.1). Aby bylo dosaženo těchto požadovaných vlastností, musí být však kladen důraz na tuhost stroje, přesnost výroby nástroje (IT5), volba vhodných řezných podmínek, prostředí atd. V tabulce č. 7 můžeme vidět jednotlivé porovnání tolerančních stupňů přesnosti pro jednotlivé operace výroby kruhových otvorů a v následující tabulce č. 2.2 pak porovnání drsností povrchu. Pro vystružování je důležitý správně předvrtaný otvor, vlastní operaci vystružování nelze zlepšit přesnost polohy díry, pouze rozměr, drsnost povrchu a geometrii díry.[1, 32]

Tab. 2.1 Porovnání tolerančních stupňů jednotlivých operací při výrobě otvorů [5]

Typ operace	Tolerance ISO								
	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13
vrtání									
hrubování									
vystružování									

Tab. 2.2 Porovnání drsnosti povrchu jednotlivých operací při výrobě otvorů [5]

Typ operace	Drsnost povrchu							
	Ra 0,2	Ra 0,4	Ra 0,8	Ra 1,6	Ra 3,2	Ra 6,3	Ra 12,5	Ra 25
vrtání								
hrubování								
vystružování								

Stroje pro vystružování se dají použít stejné jako při operaci vrtání, avšak pokud chceme dosáhnout kvalitních a geometricky přesných děr v dané toleranci, je vhodné použít číslicově řízená centra. V dnešní době, kdy je trendem zvyšování produktivity za současného snižování nákladů, je volba vhodného řezného nástroje, jeho geometrie, materiálu, případně povlaku a optimalizace řezných podmínek vhodnou cestou ke konkurenceschopnosti. [11]

V dnešní době dochází s ohledem na stále zdokonalující se technologie výroby, metrologie, vývoj nových materiálů a povlaků i k vývoji výstružníků. Výsledkem stálého vývoje a inovací na používaných nástrojích je zvyšování životnosti nástroje, zvyšování přesnosti vyrobené díry a s tím související smontovatelnosti vyrobených

součástí. V neposlední řadě jsou kráceny vedlejší strojní časy, jako je výměna opotřebeného nástroje, odpadá ostření, není nutné tak často seřizování nástroje a je tak eliminován lidský faktor jako možný zdroj chyb. [11]

2.1 Kinematika procesu vystružování a geometrie nástroje

Z pohledu kinematiky při procesu vystružování koná hlavní pohyb - rotace nástroj a vedlejší pohyb - axiální posuv vykonává také nástroj. Hlavnímu pohybu odpovídá rovnice po řeznou rychlost v_c (rov. 2.1) a vedlejší posuvové rychlosti odpovídá posuvová rychlost v_f (rov. 2.2). Výsledná rychlost pohybu nástroje vůči obrobku označíme v_e (rov. 2.4).[9]

Speciálním případem je vystružování otvoru na soustruhu, kde z pohledu kinematiky hlavní pohyb koná obrobek (rotace obrobku) a vedlejší pohyb koná nástroj (axiální posuv).[9]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3} [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.1)$$

$$v_f = 10^{-3} \cdot f \cdot n [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.2)$$

$$f_z = \frac{f}{z} [\text{mm}] \quad (2.3)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.4)$$

kde:	D [mm]	jmenovitý rozměr díry
	n [min^{-1}]	otáčky nástroje
	f [mm]	posuv nástroje
	f_z [mm]	posuv na zub
	z [-]	počet zubů

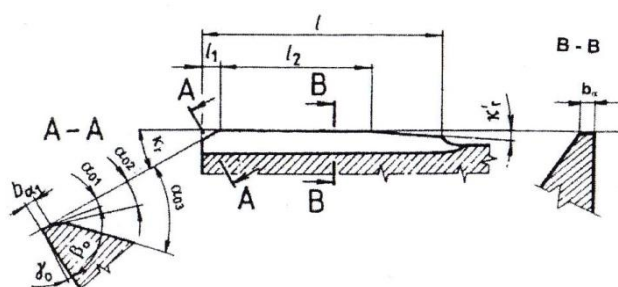
2.2 Geometrie nástroje

Výstružníky jsou zařazeny do skupiny vícebřitých nástrojů. Trendem pro přesnější obrábění je vedle břitů na řezné části nástroje použití i tzv. vodítek. Díky většímu počtu břitů a použití menší tloušťky třísky se značně vylepšuje vedení nástroje a výrazně klesají síly, které vytlačují nástroj ze středové polohy.[32]

Vyšší počet opěrných bodů v interakci s menším přídatkem na obrábění zaručí, že nástroj se nebude tolik zařezávat do materiálu a bude tedy plynuleji odřezávat třísku, nástroj bude celkově tužší, budou vznikat menší vibrace, a proto dokáže vyrobit díru s vyšší přesností a menší drsností povrchu.

Geometrii vystruženého otvoru, zejména kruhovitost, lze ovlivnit také sklonem zubů výstružníku. Dle aplikace a konstrukce výstružníku se používají zuby přímé a zuby ve šroubovici. Přímé zuby jsou vhodné pro stavitelné výstružníky, zuby ve šroubovici zase vykazují klidnější chod a lepší kruhovitost výsledného otvoru.

Moderní nástroje často proti tradičnímu symetrickému pojetí nástroje nesou břity a vodítka nerovnoměrně rozmístěné po obvodu nástroje (není konstantní rozteč). Toto způsobuje nesymetrické buzení stroje vibracemi a stroj tedy nemá tendenci se rozvíbrovat, což výrazně přispívá ke stabilitě procesu, geometrické přesnosti a drsnosti povrchu díry.



κ_r - nástrojový úhel nastavení hlavního ostří
 κ_r' - nástrojový úhel nastavení vedlejšího ostří
 ε_r - nástrojový úhel špičky
 γ_o - nástrojový ortogonální úhel čela
 β_o - nástrojový ortogonální úhel břitu
 α_o - nástrojový ortogonální úhel hřbetu
 λ_s - nástrojový úhel sklonu ostří

Obr. 2.1 Základní parametry geometrie břitu strojního výstružníku[9]

2.3 Přídavek na obrábění

Stanovení přídavku na obrábění se může lišit podnik od podniku. V literatuře [8] se přídavek stanoví empirickým vztahem (rov 2.6). Tyto údaje se také dají zjistit v katalogu výrobce nástroje nebo si firma může stanovit vztahy na určení přídavku sama.





$$p = 0,1 \cdot 0,005 \cdot D \text{ [mm]} \quad (2.6)$$

Kde: D [mm] jmenovitý průměr díry

2.4 Rozdělení výstružníků

Podle dostupné literatury, katalogu výrobců a dalších zdrojů lze výstružníky rozdělit do skupin viz. tabulka 2.3.

Tab. 2.3 Rozdělení výstružníků

Rozdělení výstružníků			
a)	Podle mechanizace	ruční	
		strojní	
b)	Podle tvaru	válcové	
		kuželové	
c)	Podle konstrukce	monolitní	
		nástrčné	
d)	Podle břitů	pevné	
		stavitelné	
e)	Podle typu chlazení	bez chlazení	
		středem nástroje	
		zubovou mezerou	
f)	Podle typu upnutí	kleština	-
		tepelně	-
		hydro	-
g)	Podle tvaru stopky	válcová stopka	
		kuželová stopka	

3 VÝSTRUŽNÍKY SVĚTOVÝCH VÝROBCŮ

Většina výrobců nástrojů má ve svém portfoliu nástroje standardní, které se běžně používají a dají se tak vyrábět, skladovat a následně distribuovat v závislosti na poptávce nebo dokáží vyrábět nástroje přímo na zakázku s parametry přímo od zákazníků. V této kapitole je zaměření na výrobce výstružníků převážně z cermetu.



Obr. 3.1 Světoví výrobci nástrojů

3.1 MAPAL

MAPAL Fabrik für Präzisionswerkzeuge Dr. Kress KG, Centrála Aalen, Německo

Od založení podniku Dr. Georgem Kressem v roce 1950 se MAPAL rychle rozrostl. První desetiletí od roku 1950 do roku 1960 se vyznačovalo snahami zajistit finance. Rozhodující pro rozvoj firmy MAPAL bylo získání italského patentu (1954) na jednobřitý výstružník, základu pro zahájení vývoje v oblasti obrábění otvorů. Princip výstružníku s jedním břitem a nejméně dvěma vodícími lištami však řádně nefungoval a byli to inženýři ve firmě MAPAL, kterým se podařilo správně tento princip implementovat. V šedesátých letech byla postavena nová výrobní hala v Aalen, sedmdesátá léta byla ve znamení změny technologie výroby. Do konce tisíciletí se změnilo technologické vedení a dále se rozšiřoval sortiment výroby. Na začátku nového tisíciletí se MAPAL stal specialistou především na individuální řešení [17,18].

Firma MAPAL je dnes předním specialistou na světě v oblasti individuálních řešení strojního obrábění s nejvyšší přesností a rentabilitou. Nabízí dnes inovační přesné nástroje pro všechny aplikační oblasti v kovoobrábění na celém světě. Komplexním sortimentem výrobků pokrývá firma MAPAL celou oblast obrábění otvorů včetně náročného strojního obrábění PKD nebo PCBN nástroji. [17,18]

V současnosti má společnost 3 800 zaměstnanců na celém světě, z nich je přibližně 2 500 v Německu. Obrat v roce 2010 činil 310 milionů Euro. Dceřiné společnosti s regionální výrobou, prodejem a servisem působí ve 21 zemích. [17,18]

MAPAL vyrábí výstružníky s výměnnými břitovými destičkami (VBD) a vodícími lištami. Destičky se vyrábí ve dvou základních provedení obdélníkové (řada WP) a hexagonální (HX). Typické pro tyto typy výstružníků je zaručení dobré kruhovitosti a válcovitosti. VBD mohou být v různých materiálových provedeních. [19,20,21,22]



Obr. 3.2 a) jednobřitý výstružník, b) dvojbřitý výstružník firmy MAPAL

Další kategorií výstružníků vyráběných společností MAPAL jsou vícebřité výstružníky. Lze je rozdělit:

- Vysoko produktivní výstružníky HPR
 - výstružníkové hlavy
 - nastavitelné výstružníky
- Řezné kroužky
- Pevné karbidové/cermetové výstružníky
- MonoReam
 - MonoReam series 800 – jemně stavitelný
 - MonoReam series 700 – expandable
 - MonoReam series 600 - pevný
- FeedPlus



a) HPR



b) Řezné kroužky



c) Cermetové/SK výstružníky



d) Výměnné řezné hlavy



e) MonoReam



f) FeedPlus

Obr. 3.3 Variantní výstružníků firmy MAPAL[19,20,21,22]

3.2 BECK

August Beck GmbH & Co. KG, výrobce vysoce přesných řezných nástrojů, D-72474 Winterlingen, Německo

Firma Beck má více než stoletou tradici. Zakladatelem firmy August Beck, je legendární „dráteník“, který spolu s dvěma dalšími společníky založil mechanickou dílnu, která se v té době zabývala především opravou textilních strojů. V roce 1910 vznikly první nástroje k vrtání do dřeva, které daly základ vývoje nezávislého výrobního programu. V roce 1925 bylo přemístěno sídlo firmy do dnešního Winterlingen. Po těžkých poválečných letech se opět výroba obnovila a dále rozvíjela a v roce 1981, při 75. výročí založení firmy byl výrobní program završen vývojem jednobřitého výstružníku s vyměnitelnými konci. Od té doby se dále rozvíjel program, především ve vývoji mnohobřitých výstružníků. V roce 2002 byla otevřena nová továrna na výrobu výstružníků s použitím cermetu, karbidu, PKD a PCBN jako řezných materiálů. Ačkoliv v roce 2004 byla firma převzata firmou MAPAL, zůstala jí relativní samostatnost s vlastním výrobním programem.[23]

Výrobní program zahrnuje výstružníky, záhlubníky a vrtáky podle přísných firemních norem vyrobených z HSS a Cermetu. Výstružníky použitelné v širokém spektru s vnitřním chladicím zařízením a hroty z Cermetu, karbidu, PKD a PCBN. Jemné vrtací nástroje s břity z Cermetu, karbidu a PKD. Speciální nástroje vyvinuté a vyrobené na základě individuálních požadavků zákazníků[26]

Firma BECK vyrábí mimo konvenčních výstružníků (monolitní, rozpínací, nástrčné) modelové řady vysoce produktivních výstružníků[26]:

- MR – výstružníky s pájenými destičkami,
- VR – lepené mnohobřité plátky do ocelového těla,
- XR – výměnné vystružovací hlavy,
- HCS - monolitní cermetové výstružníky,
- HNC – vysoce výkonné výstružníky z SK a povlakem,
- RB01 – vysoce výkonné výstružníky s plátkou z cermetu
- RB03, RB08 – výstružníky s VBD z různých materiálů a pomocnými vodičky.



a) MR



b) XR



c) HNC



d) HCS



e) VR



f) RB01

Obr. 3.4 Modelové řady výstružníků firmy BECK[26,24,25]

3.3 DIHART

Komet DIHART AG, *Industriestrasse 2 4657 Dulliken, ŠVÝCARSKO*

Dihart Precision Tools AG patří mezi vedoucí dodavatele vysoce přesných nástrojů k vystružování pro jemné a vysoce precizní obrábění. Více než šedesátiletá tradice firmy Dihart je synonymem vysoce přesného vystružování. Jako součást společnosti KOMET GROUP DIHART nabízí také kompletní servisní služby v mezinárodním měřítku. Všude, kde se prodávají výrobky DIHART, je možno najít servisní techniky. Světový standard kvality zajišťuje centrum, které se nachází v centrále v Dulliken ve Švýcarsku.[15,16]

Kompletní soubor nástrojů je od standardních nástrojů ke speciálním PKD výstružníkům. Dalšími vysoce specializovanými nástroji na zakázku klientů dává záruky pro všechny potřeby dokončování přesných děr. Znalost potřeb zákazníka a schopnost vytvářet nástroje přesně na míru otvírá společnosti unikátní perspektivy dalšího rozvoje. DIHART představuje odvětví společnosti KOMET GROUP pro precizní vystružování.[15,16]

V portfoliu výstružníků firmy DIHART jsou[14]:

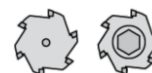
- Řezné kroužky
- Monomax
 - pevné
 - stavitelné
- Reamax
 - Pevné
 - Stavitelné
- Monolitní výstružníky ze SK
- Výměnné řezné hlavy
- PKD výstružníky



a) Řezné kroužky



b) Monomax





Obr. 3.5 Výstružníky firmy DIHART[14]

3.4 GÜHRING

Guhring inc., Corporate Offices, Brookfield, WI, U.S.A.

Více než stoletá zkušenost ve výrobě řezných nástrojů spolu s vyspělou oblastí výzkumu a vývoje řadí Guhring na přední místo technických inovací v oblasti řezných nástrojů.

Sídlo firmy je v Brookfieldu, státu Wisconsin, další hlavní závody se nacházejí v Detroitu (MI), a Kitchener (ON), Kanada. Celosvětově existuje 26 výrobních závodů a 36 servisních středisek. Za více než pětaticetiletou tradicí se skrývá špičková technologie s vysoce inovativními prvky. Navíc inženýři vývojových středisek jsou schopni rychle reagovat na individuální požadavky zákazníků koncepčně i designově novými typy nástrojů s využitím rychlořezné oceli, cermetu, SK či PKD nebo jejich kombinací, což umožňuje ve svém důsledku vytvářet maximálně efektivní a přitom ekonomicky výhodné nástroje.[27,28]

Firma GÜHRING vyrábí mimo běžných NC výstružníků pouze jednu modelovou řadu vysoce produktivních výstružníků HR 500 a to v provedení různých variant nástrojových materiálů. Výstružníky označením HR 500 G jsou vyrobené z cermetu.[29,30]



Obr. 3.6 Výstružníky firmy GÜHRING [30]

3.5 HAM-FINAL

Firma je součástí koncernu HAM, GmbH (HARTMETALL-WERKZEUGFABRIK ANDREAS MAIER, GMBG).

HAM-FINAL, s.r.o. je německo-česká strojírenská firma s dlouholetou tradicí. Zabývá se vývojem, výrobou a prodejem moderních nástrojů pro vystružování, vyvrtávání a obrábění velmi přesných děr.[13]

Firma HAM-FINAL, s.r.o. vznikla v roce 1997 z původní firmy FINAL, založené v roce 1991. Firma FINAL se zabývala vývojem a výrobou nástrojů pro třískové obrábění přesných děr. Dobré výsledky vývojové práce byly dosaženy uplatněním dlouholetých praktických zkušeností v třískovém obrábění. Cílevědomé vývojové práce v oboru obrábění přesných děr byly oceněny udělením několika patentů potvrzujících originální řešení nástrojů nové generace. Firma se nepřestala věnovat dalšímu vývoji. Rozšířila svoji vývojovou a výrobní základnu o nejmodernější stroje, zvýšila počet zaměstnanců a rozšířila technickou spolupráci s vysokými školami. V současnosti se firma zabývá především vývojem a výrobou nástrojů využívaných v automobilovém průmyslu a při výrobě hydraulických komponentů. [13]



Náplní činnosti firmy HAM-FINAL, s.r.o. jsou výstružníky, výhrubníky, vyvrtávací nástroje, kombinované a tvarové nástroje, speciální nástroje na zakázku, nástrojové systémy pro CNC stroje, nástroje s řeznou částí z cermetu, PKD nebo PCBN pro třískové obrábění a poradenství v oblasti technologie obrábění. [13]

Mezi nejúspěšnější produkty firmy patří:



a) Cermetové výstružníky



b) Vyvrtávací jednotka NVG

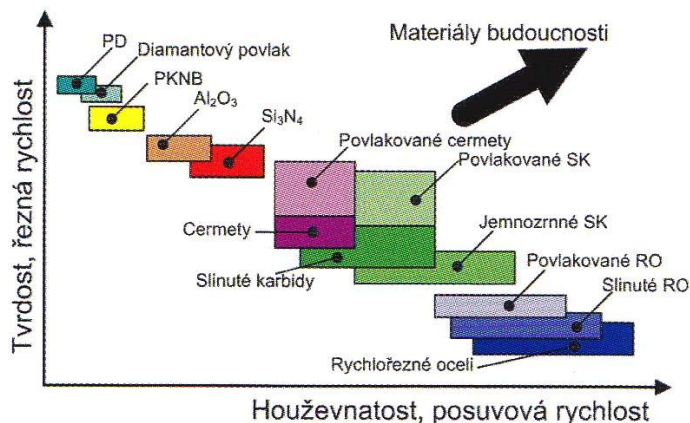


c) Vystružovací hlavice MT3

Obr. 3.6 Nástroje firmy HAM-FINAL[34]

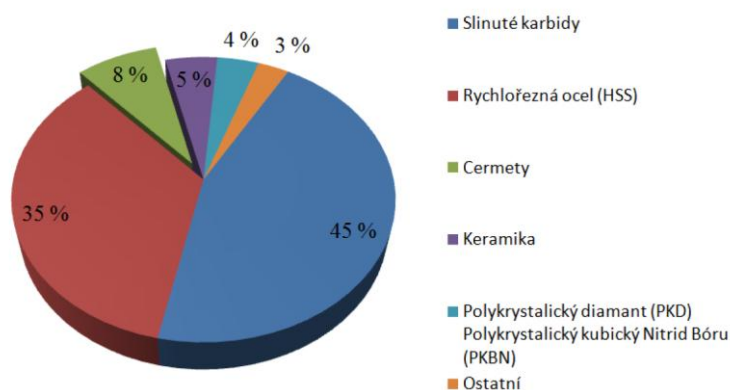
4 ŘEZNÝ MATERIÁL A POVLAK APLIKOVANÝ NA VÝSTRUŽNÍKY

Nástrojové materiály jsou v technologii obrábění jednou z mnoha faktorů, které se musí brát v úvahu při konstrukci a vývoji nástrojů. Nelze tuto otázku banalizovat, protože v současné době neexistuje žádný materiál, který by sloužil pro obrobení kteréhokoliv materiálu. Je to dáno mnoha faktory a to především tím, že pokud bychom chtěli zkonstruovat „ideální nástroj“, požadavky na něj by byly tvrdé a ořezuvzdorné ostří a zároveň houževnatost jako celku. Tyto dvě vlastnosti jsou protichůdné a doposud se nepodařilo vyrobit řezný materiál spojující tyto vlastnosti. Tvrdost a ořezuvzdornost nástrojového materiálu lze zlepšit různými povlaky a tím zvýšit produktivitu nástroje. Na obrázku 4.1 jsou znázorněny používané nástrojové materiály v závislosti na tvrdosti a houževnatosti.[2]



Obr. 4.1 Vliv mechanických vlastností nástrojového materiálu na pracovní podmínky [2]

Mezi nejpoužívanější nástrojové materiály patří nástrojové oceli (NO), slinuté karbidy (SK), řezná keramika (ŘK), vysoko tvrdé materiály jako jsou polykrystalický diamant (PKD, kubický nitrid bóru (PCNB), ale také cermety, které svými vlastnostmi jsou vhodné pro dokončovací operace, jako je vystružování. V celkové světové produkci lze přiřadit něco kolem 8 % z celkové produkce nástrojových materiálů.[33]



Obr. 4.2 Světová produkce řezných materiálů v procentech[33]

4.1 Vývoj cermetů

Cermety jsou typem řezných slinutých materiálů. Jejich kovovou složku tvoří sloučeniny titanu, především karbid titanu TiC, nitrid titanu TiN, karbonitrid titanu TiCN, případně jejich kombinace, která je spojena se složkou keramickou. Ze spojení těchto materiálů také vznikl název CERMET, což má charakterizovat právě spojení keramické (CERamics) a kovové (METal) složky. Podle normy ČSN ISO 513 jsou tyto materiály označovány symbolem HT.[2]

První cermety byly vyvinuty v rakouské firmě Plansee v letech 1929 – 1931, pravděpodobně, aby obešly v té době platné patenty firmy Krupp¹⁴². Očekávalo se od nich, že spojí tvrdost keramických materiálů s houževnatostí použitých kovů, což se však tak zcela nepodařilo. První prakticky použitelné cermety byly k dispozici v padesátých letech, ale nezaznamenaly v Evropě a USA většího rozšíření, pravděpodobně pro svoji nedostatečnou houževnatost. [2]

Další vývoj významně pokročil v šedesátých letech 20. století v Japonsku. Díky tomu, že cermety většinou neobsahovaly wolfram ani kobalt, představovaly typ levného a lehce dostupného nástroje. Proto jejich vývoj až do dnešní podoby byl prováděn především v Japonsku, kde se staly velmi populární a na konci osmdesátých let tvořily cermety v japonském průmyslu více než jednu čtvrtinu všech užívaných břitových destiček, což byl prakticky shodný objem s používanými destičkami z povlakovaných SK. Vývoj cermetů v Japonsku lze připisovat nedostatku wolframu na japonském trhu. [2]

Cermety na bázi TiC byly na trh uvedeny v Evropě v šedesátých letech minulého století. Houževnaté cermety na bázi Ti (C, N) byly sice vynalezeny již v roce 1931, ale až na základě systematického výzkumu vedeného Kiefferem a jeho spolupracovníků, kteří poopravili předsudky vůči tvrdým částicím na bázi dusíku, se podařilo připravit v letech 1968 – 1970 skutečně velmi dobré materiály. Díky této skutečnosti, ale i díky úspěšnému zavádění cermetů v Japonsku, vzbudil v Evropě, ale i v USA nový zájem o tyto materiály, a to především v 80. letech minulého století. Přesto dosáhlo jejich využívání různými uživateli v těchto částech světa zhruba jen 1/3 oproti uživatelům japonským. [2]

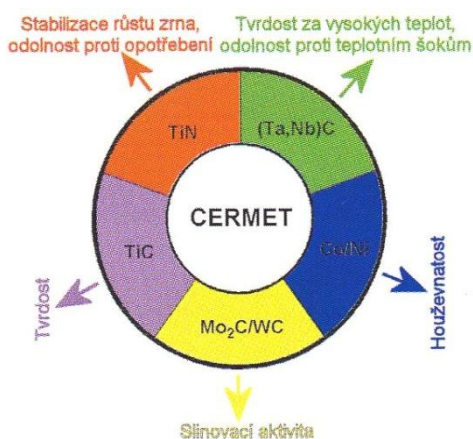
Cermety obecně nabízejí výhody vyšších řezných rychlostí ve srovnání s konvenčními SK, protože TiC je termochemicky stabilnější než WC. Užití první generace cermetů TiC-Mo-Ni bylo omezeno pouze na oblast lehkého řezání, protože jejich houževnatost a odolnost proti vydrolování byla ve srovnání s běžnými SK nižší. Proto byly postupně nahrazeny kvalitnějšími materiály. Zvýšení pevnosti a odolnosti proti vydrolování bylo dosaženo přidáním TaC a WC. [2]

Další generace cermetů je založena na kombinaci TiC-TiN. V sedmdesátých letech byl postupně nahrazován podíl karbidu titanu nitridem titanu nebo Ti(C,N). V důsledku menší smáčivosti zprvu docházelo při výrobě k velké pórovitosti materiálu, a tedy snížení ohybové pevnosti. Avšak postupným a pečlivým řízením procesu výroby dochází ke snížení pórovitosti a strukturních defektů, a celkově dochází ke zlepšení odolnosti proti opotřebení a vydrolování. [2]

4.2 Struktura a výroba cermetů

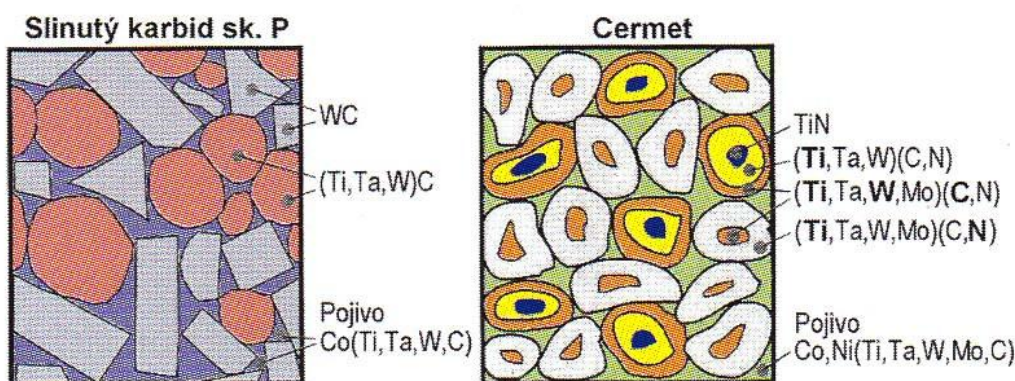
Cermety svou složitostí výroby a jejich strukturou jsou podobné slinutým karbidům. Pro výrobu cermetu jsou základními prvky tvrdé složky a pojivo. Za hlavní tvrdou fázi se

nejčastěji používá, jak již bylo zmíněno TiC, TiN nebo TiCN a jako pojící prvek se ve většině případů používají promíchané prášky kobaltu (Co) a niklu (Ni) v různých poměrech za účelem snížení rozpustitelnosti titanu v niklu a stabilizaci karbonitridů. Jako náhrada drahého kobaltu se v současné době může přidávat k niklu chrom. Dále jsou obsaženy složky (20 až 40 hmotnostních procent), které zlepšují slinovatelnost, tvrdost za vysokých teplot a odolnost proti rychlým teplotním změnám (viz obr. 4.3). [2]



Obr. 4.3 Vliv základních složek na vlastnosti cermetu [2]

Výroba cermetů je založena stejně jako u slinutých karbidů na práškové metalurgii. Tyto prášky jsou vyrobeny rozemletím ze základních sloučenin, jako jsou TiC, TiN, Mo₂C, WC. Na rozdíl od výroby SK mnohem více závisí na složení základních prášků, velikosti částic, rozložení částic a slinovací atmosférou. Složitost struktury jednotlivých složek cermetu oproti slinutému karbidu je znázorněn na obrázku 4.4. Na tomto obrázku jsou vidět jednotlivá zrna tvrdých fází, kde jádro obsahuje ostrohranná jemnozrnná nebo hrubozrnná zrna TiN a také vnitřní a vnější plášť tohoto zrna tvoří převážně titanové částice s příměsí dalších prvků jako Mo, W, Ta. [2]



Obr. 4.4 Porovnání mikrostruktury SK a cermetu [2]

4.3 Vlastnosti a použití cermetů

Cermety se řadí mezi velmi specifické nástrojové materiály s užším polem využití. Pro cermety je charakteristická nízká pevnost v ohybu a nižší houževnatost oproti NO a SK, proto se používají spíše pro obrábění s menším průřezem třísky. Dalším nedostatkem je

malá odolnost proti abrazi a nárazovým zatížením, proto se používá pro obrábění s nepřetržitým úběrem třísky. Jeho výhodami jsou dobrá termochemická stabilita, proto snese vyšší řezné rychlosti oproti SK, nízká schopnost adheze, dokáže tedy vytvářet povrch s velice nízkou drsností povrchu. Celkově je vhodným materiálem pro dokončovací operace.[7]

4.4 Povlakování

Povlakování nástrojových materiálů slouží ke zvýšení ořezavzdornosti, tvrdosti, brání rychlé abrazi nástroje a celkově má kladný vliv na povrch řezné části nástroje. První povlak vyrobila firma Sandvik Coromant již v roce 1969. Technologie povlakování prošla několika generacemi povlaků, kdy první povlaky se nanášely pouze v jedné vrstvě několika μm . Postupem času při zdokonalování technologie se začalo přidávat počet vrstev povlaku (někdy i více než 10 vrstev) o různém složení, což ještě zvýšilo kvalitu povlakovaného nástroje. Tyto výhodné vlastnosti vyplývají zejména z toho, že povlakovaný materiál neobsahuje žádné pojivo, má o jeden i více řádů jemnější zrnitost a méně strukturních defektů (póry, dutiny) a tvoří bariéru proti difuznímu mechanismu opotřebení nástroje. Podle principu se metody povlakování dělí do dvou základních skupin [8]:

- Metoda CVD
- Metoda PVD

4.4.1 Metoda CVD

Metoda CVD (Chemical Vapour Deposity) je založena na chemickém napařování z plynné fáze, které probíhá za vysokých teplot ($900\text{--}1200^\circ\text{C}$). K výhodám a nevýhodám této metody patří [8]:

- výborná adheze mezi povlakem a podkladem
- možnost nanesení vrstvy o větší tloušťce
- dokáže povlakovat i složité tvary
- ovlivňuje podkladový materiál (snížení ohybové pevnosti)
- nedokáže napovlakovat ostré hrany
- v povlaku vznikají zbytková tahová napětí

4.4.2 Metoda PVD

Metoda PVD (Physical Vapour Deposity) je založena na fyzikálním napařování. Charakteristické pro tuto metodu jsou nižší teploty než u metody CVD. Výhody a nevýhody této metody jsou [8]:

- vytváří tlaková zbytková napětí – příznivější
- nereaguje s podkladovým materiálem
- schopnost napovlakovat ostré hrany
- před povlakováním musí být povrch důkladně očištěn a odmaštěn
- tenčí vrstva povlaku
- menší variability typu povlaku
- stálý pohyb vzorku jinak by se plochy odvrácené od místa napařování nenapovlakovaly

5.1 Obráběná součást, popis pracoviště

Obrobkem byla hydraulická rozvodová kostka z tvárné litiny, označené podle ČSN 422305, podle DIN 1693 - GGG 50. Obrábění probíhalo na CNC obráběcím centru Hiller Hille nb-h90. Další informace o obrobku jsou uvedeny v tabulce 5.1 a o stroji v tabulce 5.2.

Tab.5.1 Obráběná součást

součást	
Materiál obrobku	ČSN 422305 Tvárná litina (GGG 50)
Průměr a tolerance díry	Ø12 H6 (12,0 – 12,011)
Délka vystružené díry	81 mm
Požadovaná drsnost	Ra 1,0 µm
Požadovaná válcovitost	0,005 mm

Tab.5.2 Obráběcí stroj

prostředí	
stroj	Hiller Hille nb-h90
Procesní kapalina	Emulze 8%
Přívod kapaliny	Středem nástroje k břitům
Upnutí nástroje	Hydroupínač SK 40

5.2 Příprava díry před vystružováním

Výstružník nelze použít do plného materiálu a proto je potřeba před technologií vystružování nejprve provést přípravné operace vrtání a vyhrubování. V tabulkách 5.3 a 5.4 jsou uvedeny technické údaje těchto nástrojů.

Tab. 5.3 Vrták a pracovní podmínky

vrtání		
nástroj	posuv na otáčku [mm]	řezná rychlost [m.min ⁻¹]
SK monolitní Ø11,5 mm	0,2	100

Tab. 5.4 Výhrubník a pracovní podmínky

vyhrubování		
nástroj	posuv na otáčku [mm]	řezná rychlost [m.min ⁻¹]
Výhrubník HAM-FINAL Ø11,82 mm	0,25	100

5.3 Testované výstružníky

Výstružníky použité při testování procesu vystružování díry Ø12 H6 jsou svojí konstrukcí odlišné. Původní používaný výstružník firmy DIHART je rozpínací. To znamená, že je možno opotřeбенý nástroj, jenž by vytvářel zmetky, pomocí stavěcího šroubu rozepnout a následně dále vystružovat díry s požadovanou přesností. Dalším rozdílem je, že původní nástroj firmy DIHART není povlakovaný. V tabulce 5.5 a 5.6 je uvedena charakteristika jednotlivých nástrojů.

Obr. 5.2 Výstružník $\phi 12H6$ DIHART [14]

Výstružník HAM-FINAL je tvořen cermetovou řeznou částí s povlakem TiNAllox, která se vyznačuje rozdělením na hrubovací a dokončovací. Hrubovací část je určena k úběru materiálu na daný rozměr díry, druhá, dokončovací řezní část je určena ke kalibraci díry a zlepšení drsnosti povrchu. Břity jsou delší, než u výstružníku DIHART, čímž se zlepšuje kalibrační schopnost, ale prodlužuje se nutná dráha nástroje.



Obr. 5.4 Detail řezné části nástroje HAM-FINAL

Obr. 5.5 Výstružník $\phi 12H6$ HAM-FINAL

Tab.5.5 Údaje původní nástroj

DIHART rozpínací	
Označení	56R.93
Řezný materiál	cermet
Povlak	bez povlaku
Počet zubů	6
Délka břitu	9,5 mm
Počet rozepnutí	3 x
Výsledná trvanlivost	273 kusů
Řezná rychlost v_c	80
Posuv na otáčku	0,3

Tab.5.6 Údaje nový nástroj

HAM-FINAL	
Označení	6421 011
Řezný materiál	cermet
Povlak	TiNAllox
Počet zubů	8
Délka břitu	31 mm
Počet rozepnutí	0
Výsledná trvanlivost	1160 kusů
Řezná rychlost v_c	160
Posuv na otáčku	1,2

5.4 Pracovní podmínky při vystružování

Výstružníky byly testovány při doporučených podmínkách od výrobců, viz. tabulky 5.7, 5.8.

Tab.5.7 Pracovní podmínky původní nástroj

DIHART rozpínací	
Řezná rychlost v_c	80 m.min ⁻¹
Posuv na otáčku	0,3 mm

Tab.5.8 Pracovní podmínky nový nástroj

HAM-FINAL	
Řezná rychlost v_c	160 m.min ⁻¹
Posuv na otáčku	1,2 mm

5.5 Dosažené výsledky životnosti při vystružování

U původního výstružníku firmy DIHART, se během jeho životnosti provádí průměrně třikrát rozpínání. Také při testovaném kuse bylo provedeno třikrát rozepnutí výstružníku do dosažení jeho trvanlivosti. Dále nebylo možné výstružník použít.

Výstružník HAM-FINAL není rozepínatelný, řezná část je vyrobena z monolitu cermetu. Jeho konstrukce ostruhované řezné části, přispěla k obrobení podstatně většího počtu děr.

Výsledky jsou uvedeny v tabulkách 5.9 a 5.10.

Pro přepočet trvanlivosti z počtu vystružených děr pomocí vztahu 5.1 byla tato hodnota převedena na trvanlivost nástroje v délce vystružené díry. [2]

$$L_D = l \cdot x \cdot 10^{-3} [m] \quad (5.1)$$

$$T = \frac{L_D \cdot 10^3}{n \cdot f} [min] \quad (5.2)$$

- Kde: L_D [m] - trvanlivost v délce vystružené díry
 l [mm] - délka vystružené díry
 x [-] - počet děr vystružené jedním nástrojem
 T [min] - trvanlivost nástroje
 n [min⁻¹] - otáčky nástroje
 f [mm] - posuv na otáčku

Tab.5.9 Výsledky trvanlivosti původní nástroj

DIHART rozpínací	
Počet rozepnutí	3
Výsledná trvanlivost	273 kusů
Výsledná trvanlivost	34,17 min
Vystružená délka díry	22,113 m

Tab.5.10 Výsledky trvanlivosti nový nástroj

HAM-FINAL	
Počet rozepnutí	0
Výsledná trvanlivost	1160 kusů
Výsledná trvanlivost	18,4 min
Vystružená délka díry	93,960 m

Pro ověření spolehlivosti nového výstružníku bylo použito ještě dalších 9 výstružníků. Průměrná životnost nového výstružníku konstruovaného přímo pro zákazníka byla 1147 děr (viz tab. 5.11), které byly podle vztahu 5.1 přepočteny na délku vystružené díry.

Tab. 5.11. Životnost nového výstružníku

Průměrná životnost nástroje		
výstružník č.	počet děr [ks]	délka vystružené díry [m]
1	1151	93,231
2	1122	90,882
3	1114	90,234
4	1210	98,01
5	1242	100,602
6	1168	94,608
7	1096	88,776
8	1057	85,617
9	1163	94,203
10	1146	92,826
průměr	1147	92,8989

5.6 Vyhodnocení měření rozměrové, tvarové přesnosti a drsnosti povrchu

Správná funkce výstružníku je limitována dodržáním požadovaných parametrů rozměrové, tvarové přesnosti a požadované kvality obrobeného povrchu.

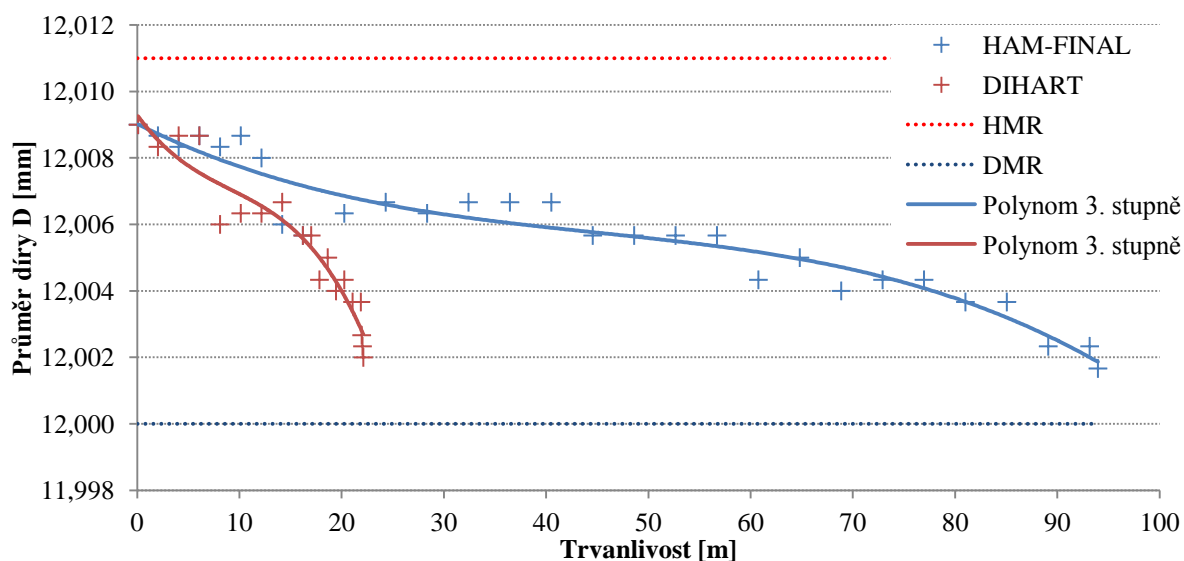
Na výkrese součásti je definována:

- rozměrová přesnost $\varnothing 12 \text{ H6}$ (12,0 – 12,011),
- tvarová přesnost prostřednictvím válcovitosti 0,005 mm.
- Drsnost povrchu $R_a = 0,1 \text{ } \mu\text{m}$.

5.6.1 Vyhodnocení měření rozměrové, tvarové přesnosti

Průměr vystružené díry byl měřen na třísouřadnicovém stroji Prismo 7 jehož technické parametry jsou uvedeny v příloze 8. Dále v příloze 1,2 je uveden soubor naměřených hodnot.

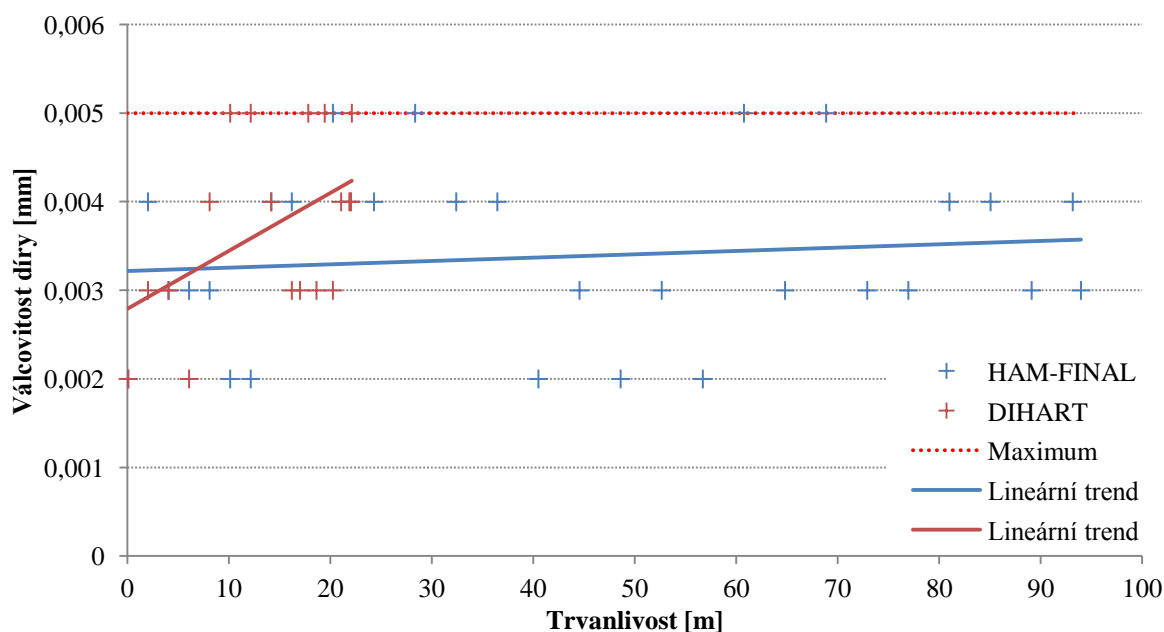
Průměry díry byly měřeny ve třech hloubkách 25, 56 a 95 mm. Z těchto 3 naměřených hodnot byl vypočten aritmetický průměr a následně sestaven graf průměru vystružené díry v závislosti na trvanlivosti. Vynesené hodnoty byly proloženy polynomem 3. stupně metodou nejmenších čtverců, aby byl znázorněn trend vlivu opotřebení výstružníku na průměr díry.



Graf. 1 Závislost průměru vystružené díry na trvanlivosti

Z grafu jednoznačně vyplývá, že nově zkoušený nástroj má více než 4x vyšší životnost při dodržení stejné tolerance rozměru díry. Z průběhu trendu lze vidět tři charakteristické fáze opotřebení nástroje – záběhové opotřebení, konstantní intenzita opotřebení a zrychlené opotřebení.

Druhým požadavkem bylo dodržení válcovitosti díry v zadané toleranci 0,005 mm, z důvodů zaručení smontovatelnosti. Válcovitost nebyla měřena přímo, ale byla vypočtena rozdílem největšího a nejmenšího průměru měřené díry dané součásti ze souboru hodnot. Hodnoty byly vyneseny do grafu a proloženy trendem lineární závislosti, aby byla zjištěna tendence vývoje válcovitosti.



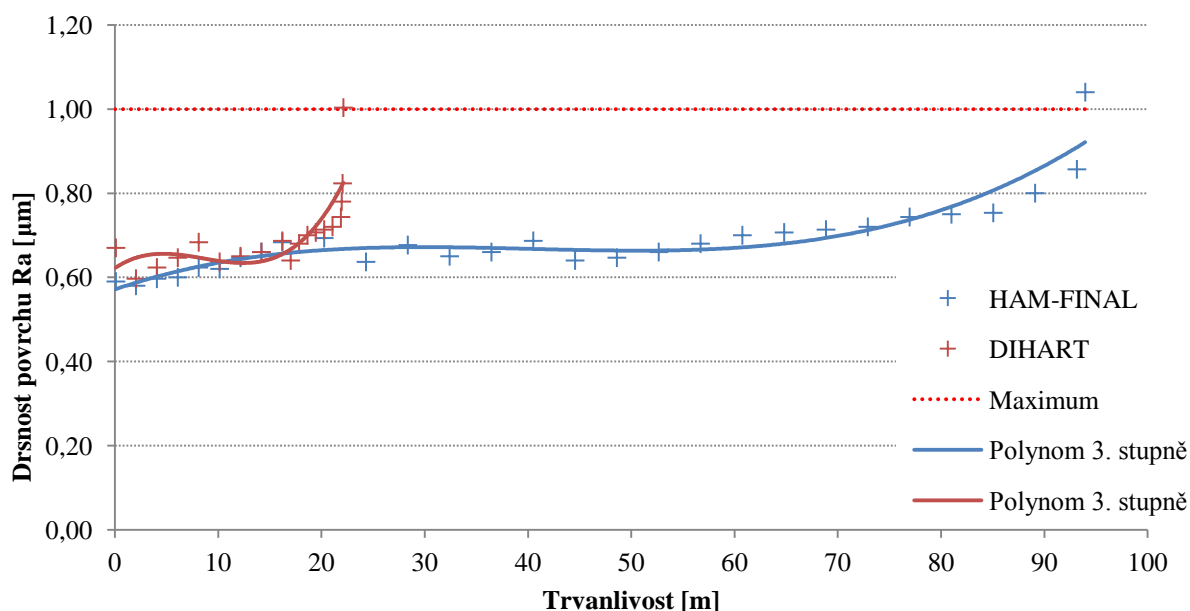
Graf. 2 Závislost válcovitosti vystružené díry na trvanlivosti

Z grafu lze vyčíst, že výstružník firmy DIHART, vytvoří díry s lepší válcovitostí na počátku životnosti, ale ke konci životnosti se válcovitost naopak zvyšuje. Naproti tomu výstružník firmy HAM-FINAL má mírnější nárůst válcovitosti v průběhu životnosti, což může naznačovat stabilnější průběh vystružování.

5.6.2 Vyhodnocení měření drsnosti povrchu vystružené díry

Měření drsnosti bylo provedeno na měřidle MAHR MarSurf. Jeho technické údaje jsou uvedeny v příloze č. 9.

Byla vyhodnocena střední aritmetická úchylka R_a a tyto hodnoty byly přidány do souboru hodnot k příslušné součásti. Měření bylo prováděno ve třech hloubkách 25, 56 a 95 mm. Do grafů byl vynesena aritmetický průměr třech naměřených hodnot v závislosti na trvanlivosti. Pro znázornění trendu vývoje hodnot drsnosti byly hodnoty proloženy polynomem 3. Stupně, který nejlépe odpovídal průběhu.



Graf. 3 Závislost drsnosti R_a vystružené díry na trvanlivosti

Z grafu lze vyvodit, že průběhy trendů mají podobný tvar, avšak pro nástroj HAM-FINAL je průběh rozložen do čtyřnásobné délky životnosti. Minimální dosažitelná drsnost je přibližně $0,6 \mu\text{m}$ u obou řešení. V průběhu trendu lze rozlišit 3 charakteristická pásma opotřebení nástroje – záběhové opotřebení, konstantní intenzita opotřebení a zrychlené opotřebení. Rovnoměrnost opotřebení přímo koresponduje s drsností povrchu díry.

5.7 Technické vyhodnocení naměřených výsledků

Technické vyhodnocení provedeme na základě porovnání obou nástrojů. Zásadními rozdíly mezi použitými nástroji DIHART a HAM-FINAL jsou:

- **Složení cermetu** – ovlivňuje dosažitelnou řeznou rychlost a posuv.
- **Povlak** – na nástroji HAM-FINAL zvyšuje dosažitelnou řeznou rychlost, snižuje adhezní a abrazivní účinek na nástroj a tím zvyšuje životnost.
- **Konstrukce** – DIHART je konstruován jako rozpínací výstružník, tedy po opotřebení bříty na dolní mezní rozměr díry je možné jej rozpínat a znovu použít, čímž lze zvýšit celkovou životnost nástroje o 30%. Řezná část výstružníku HAM-FINAL je tvořena monolitem s hrubovací a dokončovací částí, čímž je dosaženo rovnoměrného opotřebení a zachování geometrické přesnosti díry po celou dobu životnosti nástroje.
- **Geometrie** – ovlivňuje stabilitu řezu a drsnost povrchu díry.

Z grafu závislosti průměru díry na životnosti nástroje (viz Graf 1), lze potvrdit kladný vliv povlaku a materiálu nástroje na zvýšení řezných parametrů a tím větší dosažitelnou trvanlivost v délce vystružené díry.

Z grafu válcovitosti na životnosti nástroje (viz Graf 2), lze vypořádat kladný vliv odlišné geometrie výstružníku, která se projevuje plošší charakteristikou v průběhu životnosti. Z Obr. 5.5 je patrné místo nejvyššího opotřebení nástroje na špičce.

Z pohledu, kritéria drsnosti povrchu jsou výstružníky srovnatelné, avšak nástroj HAM-FINAL má průběh rozložen do 4x delší životnosti. To je způsobeno pravděpodobně kombinací geometrie a povlaku nástroje.



a)



b)

Obr. 5.5 Opotřebení nástroje HAM-FINAL a) na čele b) na hřbetu

5.8 Ekonomické vyhodnocení naměřených výsledků

Ekonomické zhodnocení je výpočet a porovnání nákladů na vystružení díry dvěma nástroji. Hlavními složkami nákladů jsou hodinová sazba provozu stroje a cena nástroje. Z předchozího porovnání nástrojů DIHART a HAM-FINAL mají hlavní vliv na ekonomiku procesu vystružování následující faktory:

- **Řezná rychlost** – přímo ovlivňuje čas obrábění
- **Posuvová rychlost** – ovlivňuje čas obrábění a čas při výjezdu z díry

- **Konstrukce** – DIHART umožňuje prodloužení životnosti pomocí rozpínacího mechanismu o 30%. Avšak vlastní rozepínání nástroje prodlužuje vedlejší čas o 7 minut, což odpovídá 20% životnosti nástroje. Naproti tomu nástroj HAM-FINAL neumožňuje prodloužit životnost, avšak odpadají vedlejší časy na rozepínání.

Na základě údajů dodané společností HAM-FINAL, byla sestavena tabulka ekonomického vyhodnocení pro výstružník firmy DIHART a HAM-FINAL.

Tab. 5.12 Ekonomické vyhodnocení

Ekonomické vyhodnocení		
Data nástroje	Současná situace:	Testovaná situace:
Obráběná délka (mm):	110	110
Označení	Rozpínací	6421-011
Výrobce:	Dihart	HAM-FINAL
Průměr:	12	12
Použitelnost břitů	1	1
Počet zubů	6	8
Řezný materiál:	Cermet	Cermet
Povlak:	bez povlaku	TiNAllox
Řezné podmínky		
Posuv f_z /zub (mm):	0,05	0,15
Otáčky n (1/min)	2123	4246
Rychlost posuvu v_f v řezu (mm.min ⁻¹)	637	5100
Rychlost posuvu při výjezdu (mm.min ⁻¹)	1500	10000
Řezná rychlost v_c (mm.min ⁻¹)	80	160
Výsledek		
Počet děr v obrobku:	1	
Čas obrábění jedné díry (min):	0,25	0,03
Trvanlivost v řezu (min):	34,7	18,4
Trvanlivost břitu na počet děr:	273	1160
Ekonomika / Nástroje		
Počet obrobků za dané období:	30000	
Životnost nového nástroje na počet děr:	273	1160
Počet nových nástrojů za dané období (ks):	109,89	25,86
Zhotovené obrobky s novými nástroji:	30000	30000
Náklady na nový nástroj (€):	460,00	412,00
Celkové náklady na nástroje za dané období (€):	50549,40	10654,32
Celkové náklady na nástroje na obrobek (€):	1,68	0,36
Ekonomika / Náklady stroje		
Počet strojů:	2	
Hodinová sazba stroje (€):	70	
Náklady na minutu stroje (€):	1,17	
Zhodnocení / Úspora na nástrojích		
Úspora na obrobek (€):	1,32	
Úspora za dané období (€):	39 895,08	
Zhodnocení / Úspora strojního času		
Úspora na obrobek (€):	0,26	
Úspora za dané období (€):	7 470,72	
Celková úspora za dané období:		
47 365,80 €		

Z tabulky ekonomického zhodnocení vyplývá, že zavedení výstružníku HAM-FINAL do výroby je ekonomicky velmi výhodné. Úspora nákladů na nástroje je 79% proti předchozímu řešení s výstružníkem DIHART. Úspora nákladů na provoz stroje je 87%. Těchto úspor bylo možno dosáhnout zvýšením řezných parametrů, zvýšením životnosti nástroje a to vše při nižší pořizovací ceně nástroje.

ZÁVĚR

V praxi je stále ve větší míře kladem důraz na produktivitu výroby. Cestou k dosažení vyšší produktivity a nižších nákladů i za cenu zvýšené spotřeby nástrojů je správná volba řezných nástrojů a optimalizace pracovních podmínek.

Dosahování produktivity je však podmíněno naplněním požadavků na rozměrovou, tvarovou přesnost a drsnost povrchu. V úvodu se práce zabývá definicí parametrů přesnosti, přičemž pro vystružování jsou charakteristické parametry geometrické přesnosti, jako je kruhovitost a válcovitost. Dále parametry přesnosti rozměru, tedy toleranční stupeň a poloha tolerančního pole vůči jmenovitému rozměru. S nově vzniklým povrchem díry přímo souvisí drsnost povrchu, v daném případě byla posuzována střední aritmetická úchylka Ra.

V následující kapitole je rozebrána technologie vystružování, nástroje určené pro vystružování, rozdělení dle geometrie, typu upínání, konstrukce, typu chlazení a dalších parametrů nástroje. Dále jsou zde uvedeny základní vztahy pro výpočet řezné a posuvové rychlosti, posuvu na zub.

Vzhledem k povaze vystružování jako dokončovací operaci a specifickým nárokům na používané řezné materiály, geometrie atd. u výstružníků, jsou na trhu výrobci specializující se na výrobu výstružníků pro obrábění vysoce přesných děr. Na rozdíl od ostatních technologií třískového obrábění lze pozorovat trend, směřující k zakázkovému vývoji a specializované výrobě nástrojů pro konkrétní aplikaci v sériové výrobě. Tím lze dosáhnout zvýšení produktivity a snížení nákladů na výrobu. Produkty firem MAPAL, DIHART, BECK, GÜHRING jsou představiteli spíše standardní výroby výstružníků. Oproti tomu výrobky HAM-FINAL jsou zákaznickými aplikacemi standardů, nebo speciály pro konkrétního uživatele. Vybrané produkty předních výrobců jsou popsány v samostatné kapitole.

Mezi velmi významné a ne zcela doceněné řezné materiály pro dokončování velmi přesných děr patří cermety. Cermety jsou svojí výrobou a vlastnostmi podobné slinutým karbidům. Jsou vyráběny práškovou metalurgií, kde hlavní tvrdou složkou jsou TiC, TiN nebo TiCN, jako pojivové slouží prvky Co a Ni.

Po teoretické části práce následuje praktická část, týkající se měření, technické a ekonomické zhodnocení výroby díry na konkrétní součásti. Ve spolupráci s firmou HAM-FINAL byl proveden návrh aplikace nového výstružníku s dvoustupňovou, monolitní, cermetovou, povlakovanou řeznou částí rozdělenou na hrubovací a kalibrovací. Navržené řešení bylo porovnáno s původním osazením rozpínacím výstružníkem firmy DIHART. Výstružník firmy HAM-FINAL byl navržen „na míru“ pro vystružování díry v rozvodové kostce z litiny s kuličkovým grafitem Ø12H6 v délce 81 mm, při požadované válcovitost 0,005 mm a drsnosti povrchu Ra 1,0 µm.

U tohoto výstružníku byla zjištěna jeho průměrná životnost 1147 obrobených děr, která odpovídá délce vystružené díry 92,9 m. Původní výstružník dosáhl životnost 273 obrobených děr, to odpovídá 22,1 m vystružené díry. To znamená nárůst životnosti o 420%.

Původní podmínky při vystružování nástrojem DIHART, $v_c = 80 \text{ m.min}^{-1}$ a posuv na otáčku $f = 0,3 \text{ mm}$ byl zvýšen pro nástroj HAM-FINAL na $v_c = 160 \text{ m.min}^{-1}$ a posuv na otáčku $f = 1,2 \text{ mm}$. Tím došlo k snížení času potřebného pro obrobení jedné díry z 0,25 min na 0,03 min. a tedy zvýšení produktivity 12 krát.

V průběhu životnosti nástrojů byly měřeny průměry díry a drsnost povrchu. Závislost průměru díry, válcovitost a drsnost povrchu na počtu obrobených děl byla vynesena do grafů. Lze konstatovat, že průběh závislostí je velmi podobný, liší se výše uvedenou životností nástroje.

Při praktických zkouškách v průběhu životnosti jednoho ze zkoušených výstružníků HAM-FINAL byly s proměnlivou četností vybírány součásti a byl u nich měřen průměr díry a drsnost povrchu ve třech hloubkách. Z naměřených průměrů byla počítána válcovitost a hodnoty pro danou součást byly zaneseny do souboru hodnot. Z tohoto souboru byly vytvořeny grafy závislosti průměru, válcovitosti a drsnosti povrchu na trvanlivosti nástroje. Porovnáním průběhů trendů závislostí pro výstružníky DIHART a HAM-FINAL byla zjištěna čtyřnásobná životnost nástroje HAM-FINAL při zachování předepsaných parametrů na výkrese.

Na základě zjištěné životnosti, řezných parametrů a zohlednění nákladů na stroje a nástroje, byla sestavena tabulka porovnání výkonu výstružníků DIHART a HAM-FINAL. Z tabulky jednoznačně vyplývá úspora nákladů na nástroje o 79% proti předcházejícímu řešení a úspora nákladů na provoz stroje o 87%.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. KOCMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav. Technologie obrábění. 2. vyd. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
2. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
3. DRASTÍK, František. Přesnost strojních součástí podle mezinárodních norem. Tolerování rozměrů a geometrických vlastností. Ostrava: MONTANEX, a.s. 1996. 271 s. ISBN: 80-85780-18-6.
4. SVOBODA, Pavel, at al. Základy konstruování. 2. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2008. 234 s. ISBN 978-80-7204-584-6
5. MÁDL, Jan; BARCAL, Jaroslav. Základy technologie II. České vysoké učení technické v Praze: Česká technika-Nakladatelství ČVUT, 2005. 55 s. ISBN 80-01-02610-8
6. FOREJT, Milan; PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9
7. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. Příčka obrábění – Kniha pro praxe. Přel. M. Kudela 1. Vyd. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Hand book. ISBN 91-97-22-4-6
8. HUMÁR, Anton. Technologie I – Technologie obrábění – 2. část. [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru „Strojírenská technologie“ BS studijního programu „Strojírenství“. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2004, 95 s. [cit. 2012-02-08]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=opory>.
9. KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologické parametry vystružování. Strojírenská technologie: časopis kateder obrábění a montáže a kateder příbuzných České a Slovenské republiky. Ústí nad Labem: ÚJEP, roč. 6, č. 2, s. 5. ISSN 1211-4162.
10. ČECH, Jaroslav, Jiří PERNIKÁŘ a Kamil PODANÝ. Strojírenská metrologie. 4. přeprac. vyd., 2. v nakl. CERM. Brno: CERM, 2005, 176 s. ISBN 80-214-3070-2.
11. KOUŘIL, K. Obrábění přesných děr v litinách. MM Průmyslové spektrum, 2007, roč. 2007, č. 04, s. 24-25. ISSN: 1212- 2572.
12. FIALA, Stanislav; KOUŘIL, Karel. Moderní nástroje pro vystružování. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2009. ISSN 978-80-214-3914-6.
13. HAM-FINAL: O firmě. [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://www.ham-final.cz/?page=o_firme&PHPSESSID=487176b29a7a0cd15244d9700105c02b

14. KOMET GROUP GmbH: Dihart - Vystružovací nástroje. [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.kometgroup.com/pdf/dihart-cz.pdf>
15. KOMET GROUP GmbH: Dihart innovation reaming. [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.kometgroup.com/kometgroup/dihart.html>
16. KOMET GROUP GmbH: Organizational structure. [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.kometgroup.com/kometgroup/orga.html>
17. MAPAL: Společnost. [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.mapal.com/cz/spolecnost/>
18. MAPAL: Historie společnosti. [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.mapal.com/cz/spolecnost/historie-spolecnosti/>
19. MAPAL Dr. Kress KG: High performance reamer. [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://www.mapal.com/fileadmin/00_PDF-Dateien/Kataloge/de/MAPAL_High_Performance_Reamer_de.pdf
20. MAPAL Dr. Kress KG: MonoReam. [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://www.mapal.com/fileadmin/00_PDF-Dateien/Kataloge/en/MAPAL_MonoReam_en.pdf
21. MAPAL Dr. Kress KG: Pevné vícebřité výstružníky. [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.mapal.com/cz/vyroby/vyrobkove-skupiny/pevne-vicebrite-vystruzniky/>
22. MAPAL Dr. Kress KG: Nástroje s VBD a vodicími lištami. [online]. [cit. 2012-03-21]. Dostupné z: <http://www.mapal.com/cz/vyroby/vyrobkove-skupiny/nastroje-s-brity-a-vodicimi-listami/>
23. August-beck.de. [online]. [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: http://www.august-beck.de/site_en.ueberuns.firmenprofil.php
24. August-beck.de. [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: http://www.august-beck.de/site_en.produkte.reiben.einzelprod0.php
25. August-beck.de. [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: http://www.august-beck.de/site_en.produkte.reiben.einzelprod1.php
26. August BECK GmbH: Beck Main Catalogue Edition 2011. [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: http://www.august-beck.de/files/veroeff/BECK_Gesamtkatalog_2011.pdf
27. Gühring, Inc: Úvodní stránka. [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.guehring.cz/uvodni-stranka>

28. Gühring, Inc: Produkty a služby. [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: <http://www.guehring.cz/produkty-a-sluzby>
29. Gühring, Inc: Superline. [online]. 2012 [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: http://www.guehring.cz/data/produkty/cz_64.pdf
30. Gühring, Inc: Remers - EXCLUSIVE LINE. [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: [http://www.guehring.co.uk/downloads/HR500\(1\).pdf](http://www.guehring.co.uk/downloads/HR500(1).pdf)
31. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Normy - online [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.unmz.cz/urad/csn-on-line>
32. GARANT: Zerspanungshandbuch. [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: http://www.hoffmann-group.com/fileadmin/catalog/de/zhb_kat39/web_pdf/zerspanungshandbuch_k39_de.pdf
33. MEDŮSEK, M. Cermety. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 44 s., příloh 1. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Anton Humár, CSc.
34. HAM-FINAL, s.r.o. Interní materiály firmy.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/symbol	Jednotka	Popis
Co	[-]	Kobalt
CVD	[-]	Chemical Vapour Deposition
HSS	[-]	Rychlořezná ocel
HT	[-]	cermet
IT	[-]	toleranční stupeň
Mo	[-]	molybden
Mo₂C	[-]	karbid molybdenu
Nb	[-]	niob
Ni	[-]	nikl
NO	[-]	nástrojové oceli
PD	[-]	polykrystalický diamant
PKNB	[-]	Polykrystalický kubický nitrid bóru
PVD	[-]	Physical Vapour Deposition
R_a	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
R_q	[μm]	střední kvadratická hodnota drsnosti
ŘK	[-]	řezná keramika
SK	[-]	slinutý karbid
Ta	[-]	tantal
TiC	[-]	karbid titanu
TiN	[-]	nitrid titanu
TiCN	[-]	karbonitrid titanu
VBD	[-]	výměnná břitová destička
WC	[-]	karbid wolframu
a_p	[mm]	hloubka řezu
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Naměřený soubor dat nástroje DIHART
Příloha 2	Naměřený soubor dat nástroje HAM-FINAL
Příloha 3	Fyzikální vlastnosti povlaku TINALOX SN ₂
Příloha 4	Ukázka měření drsnosti povrchu
Příloha 5	Ukázka měření kruhovitosti díry Ø12 H6 DIHART
Příloha 6	Ukázka měření kruhovitosti díry Ø12 H6 HAM-FINAL
Příloha 7	Zákaznický výkres výhrubníku
Příloha 8	Zákaznický výkres výstružníku
Příloha 9	Souřadnicový stroj ZEISS Prismo 7
Příloha 10	Drsnoměr MAHR MarSurf
Příloha 11	Výkresová dokumentace hydraulické kostky